

Conference Paper, Published Version

Lankenau, Lena; Koppe, Bärbel

Auswirkungen des Klimawandels auf deutsche Seehäfen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106540>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Lankenau, Lena; Koppe, Bärbel (2019): Auswirkungen des Klimawandels auf deutsche Seehäfen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): 21. Treffen junger WissenschaftlerInnen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 125-132.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Auswirkungen des Klimawandels auf deutsche Seehäfen

Lena Lankenau, Institut für Wasserbau, Hochschule Bremen, Bremen

Bärbel Koppe, Institut für Wasserbau, Hochschule Bremen, Bremen

Einleitung

Weltweit werden etwa 80 Vol.-% des Fernhandels über den Seeweg getätigt (OECD/ ITF 2017). Damit nehmen Seehäfen eine wichtige Rolle als Knotenpunkt im Güterumschlag ein und sind in den jeweiligen Regionen ein wichtiger Motor für Wirtschaft und Beschäftigung. Seit Anfang der 1990er Jahre veröffentlicht der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) etwa alle 5 bis 6 Jahre Sachstandsberichte, in denen er auf die Beeinflussung des Klimasystems durch den Menschen aufgrund des seit der Industrialisierung im 18. Jahrhundert erfolgenden Ausstoßes der anthropogenen Treibhausgase (THG) und die daraus zu erwartenden Folgen aufmerksam macht. Durch ihre Lage an der Küste sind Seehäfen insbesondere von dem bevorstehenden Meeresspiegelanstieg aufgrund des Klimawandels betroffen. Ihre Funktionalität ist aber auch durch weitere Folgen des Klimawandels wie die Zunahme von Extremwetterereignissen gefährdet.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit geförderten Projekts PortKLIMA (Projektlaufzeit 2018-2020) zur 'Entwicklung und pilothaften Umsetzung von Bildungsmodulen zur Einbindung der Anpassung an den Klimawandel in Planung, Bau und Betrieb von Seehäfen in Deutschland' wird exemplarisch anhand sieben deutscher Häfen an der Nord- und Ostsee die Resilienz von Seehäfen gegenüber dem Klimawandel untersucht und sowohl Strategien als auch Maßnahmen unter Berücksichtigung der Bandbreite zukünftiger Unsicherheiten für ihre Anpassung an die Folgen des Klimawandels aufgezeigt. Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse werden in Form von Informationsmaterialien für die berufliche Fort- und Weiterbildung sowie die studentische Lehre festgehalten, um so deren Implementierung in die planerische Praxis zu sichern.

Klimaszenarien

Für Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas benötigt man realistische Szenarien der zukünftigen THG-Konzentrationen. Die THG-Szenarien werden anschließend als Eingangsdaten von Klimamodellrechnungen verwendet. Projektionen des zukünftigen Klimas weisen verschiedene Unsicherheitsquellen auf (Bild 1). Hierzu zählen Unsicherheiten aufgrund der internen Variabilität des Klimasystems sowie Unsicherheiten in den Klimamodellen. Die größte Unsicherheit basiert jedoch auf der zukünftigen Entwicklung der THG-Emissionen. Die daraus resultierende Bandbreite möglicher zukünftiger Änderungen stellt Planer von Anpassungsmaßnahmen vor die Herausforderung, geeignete Maßnahmen zu entwickeln und Fehlanpassungen zu vermeiden.

Die Unsicherheiten in den Klimamodellen werden minimiert, indem verschiedene Klimamodelle unterschiedlicher Forschergruppen verwendet werden (Multi-Modell-Ensemble). Eine Variation der Anfangsbedingungen in den einzelnen Klimamodellläufen (Anfangsbedingungen-Ensemble) ermöglicht es, die Unsicherheit aufgrund der internen Variabilität des Klimas zu erfassen. Durch eine Vielzahl an Modellläufen (Ensembles) ergibt sich für jedes THG-Szenario eine Bandbreite an möglichen Auswirkungen.

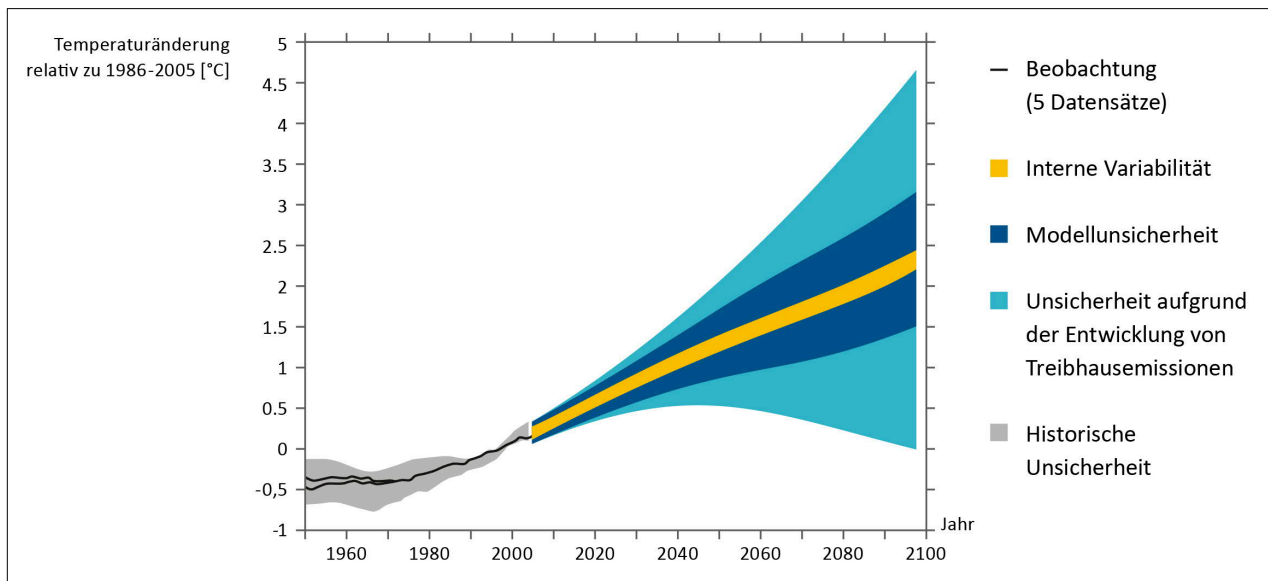


Bild 1: Einfluss verschiedener Unsicherheitsquellen bei Klimaprojektionen (nach IPCC 2013)

Folgen des Klimawandels

Die Folgen des anthropogenen Klimawandels zeigen sich in allen Teilen des Klimasystems. Neben der Erwärmung von Luft und Ozeanen, was u.a. zu einem Abschmelzen von Gletschern und Polkappen führt, steigt der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, da wärmere Luft mehr Wasser aufnehmen kann. Die Konsequenz ist, dass das Potential zur Intensivierung des Wasserkreislaufs gesteigert wird und es zu mehr Niederschlag kommen kann. Zudem ist mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen beispielsweise über einem Großteil der Landmassen der mittleren Breiten zu rechnen. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass vermehrt Trockenheit, Dürren und Hitzewellen auftreten werden. Durch die wärmere Luft nimmt grundsätzlich das Potential für mehr Verdunstung zu. Das bedeutet jedoch nicht, dass in einer Region auch mehr Niederschlag fällt. Es wird erwartet, dass feuchte Regionen zukünftig noch feuchter und trockene Regionen noch trockener werden. Auch die Gegensätze zwischen den feuchten und trockenen Jahreszeiten werden zunehmen. (IPCC 2013)

Der Meeresspiegel steigt zum einen aufgrund der thermischen Ausdehnung durch die Erwärmung des Wassers und zum anderen aufgrund des Abschmelzens des Landeises. Ein höherer mittlerer Meeresspiegel führt zu einer Verschärfung von Sturmflutwasserständen, da hierfür ein höheres Ausgangsniveau vorhanden ist.

Durch eine regional unterschiedlich starke Erwärmung der Erde und daraus folgender Änderung der Massen- und Druckverteilung in der Atmosphäre wird zudem die atmosphärische Zirkulation beeinflusst. Eine Konsequenz ist, dass sich Zugbahnen von Luftdruckgebieten und Windverhältnisse ändern können. Geänderte Windverhältnisse bergen das Potential Windstau, Seegang sowie Sedimenttransport zu beeinflussen. In den Nordsee-Ästuaren (Elbe, Ems, Jade, Weser) werden eine Verstärkung des Tidenhubs sowie des stromaufgerichteten Sedimenttransports durch einen Meeresspiegelanstieg begünstigt (BMVI 2015).

Die Entstehung von für Europa relevanten außertropischen Stürmen wird u.a. von den Temperaturunterschieden zwischen den Polen und dem Äquator, dem Feuchtegehalt der Atmosphäre sowie der Oberflächentemperatur der Meere beeinflusst (IPCC 2013). Nach Ausführung des aktuellen IPCC-

Berichts sind Aussagen über die zukünftige Häufigkeit und Intensität außertropischer Stürme jedoch noch unsicher.

Hinsichtlich des Auftretens von Nebel ist bei steigenden Lufttemperaturen eher von einer Abnahme der Nebelhäufigkeit auszugehen (Klemm und Lin 2016), da wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann.

Schwere Unwetter können mit Starkwindereignissen, Hagel und Tornados einhergehen. Klimamodelle zeigen eine Zunahme der thermischen Instabilität aufgrund eines zunehmenden Feuchtegehalts der Atmosphäre, wodurch die Bedingungen zur Entstehung von schweren Unwettern begünstigt werden (vgl. Allen 2018). Die Ableitung von auf diesen Erkenntnissen beruhenden Aussagen über die zukünftige Häufigkeit einzelner unwetterbedingter Ereignisse wie Starkwind, Hagel und Tornados ist jedoch noch unklar (vgl. Allen 2018). Púčik et al. (2017) haben, basierend auf einem Ensemble von 14 regionalen Klimamodellen, selbst bei einem starken Anstieg der Treibhausgaskonzentration bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zwar eine Zunahme der Unwettergefahr für Teile Europas, jedoch keine oder nur eine geringe Änderung der Unwettergefahr für die norddeutsche Küste festgestellt.

Durch die veränderten Niederschlags- und Verdunstungsraten kommt es zu einer Änderung des Salzgehalts der Ozeane. Für Nord- und Ostsee wird eine Abnahme des Salzgehalts prognostiziert (vgl. Schrum et al. (2016), Meier (2015)). Der Säuregehalt der Ozeane nimmt zu, da das zusätzliche atmosphärische CO₂ teilweise in den Ozeanen gespeichert wird. Durch die wärmeren Wassertemperaturen kann es zudem zu einem Sauerstoffmangel und zu vermehrten Algenblüten kommen und es können sich Arten aus wärmeren Gewässern vermehrt ausbreiten.

In Tabelle 1 sind Auszüge des Norddeutschen Klimaatlas über zukünftige Projektionen von Temperatur, Niederschlag und Wind für die deutsche Nordseeküste zusammengefasst. Die Datenbasis des Norddeutschen Klimaatlas beruht „auf mehr als 120 regionalen Klimaszenarien verschiedener Forschungsprojekte“ (Norddeutscher Klimaatlas 2019). Für die ferne Zukunft (2071-2100) zeigt Tabelle 1 eine mögliche größte Temperaturzunahme von 5 °C für die deutsche Nordseeküste. Eine Erwärmung des Meeres folgt zeitlich der Erwärmung der Luft. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird eine Zunahme der mittleren jährlichen Meeresoberflächentemperatur von 1 – 3 °C für die deutsche Nordsee und 3 – 4 °C für die deutsche Ostsee projiziert (Klein et al. 2018).

Tabelle 1: Mögliche Änderung von Temperatur, Niederschlag und Wind für die deutsche Nordseeküste relativ zum Zeitraum 1961-1990 (Daten: Norddeutscher Klimaatlas)

		Nahe Zukunft (2036-2065)			Ferne Zukunft (2071-2100)		
		Kleinste Änderung/ größte Abnahme	Mittlere Änderung	Größte Zunahme	Kleinste Änderung/ größte Abnahme	Mittlere Änderung	Größte Zunahme
Mittlere Temperatur	Jahr	+0,9 °C	+1,8 °C	+3 °C	+0,9 °C	+2,7 °C	+5 °C
Heiße Tage ¹	Jahr	0 Tage	+2 Tage	+16 Tage	0 Tage	+4 Tage	+26 Tage
Eistage ²	Jahr	-2 Tage	-8 Tage	-24 Tage	-3 Tage	-10 Tage	-28 Tage
Niederschlag	Sommer	-25 %	0 %	+34 %	-48 %	-7 %	+58 %
	Winter	-3 %	+14 %	+28 %	0 %	+22 %	+46 %
Starkregentage ³	Jahr	0 Tage	+1 Tag	+4 Tage	0 Tage	+2 Tage	+7 Tage
Längste Trockenperiode ⁴	Jahr	-3 Tage	0 Tage	+9 Tage	-4 Tage	+1 Tag	+15 Tage
Sturmintensitäten ⁵	Winter	-5 %	+1 %	+11 %	-7 %	+2 %	+9 %
Sturmtage ⁶	Jahr	-9 Tage	+1 Tag	+14 Tage	-10 Tage	+1 Tag	+14 Tage

¹ Anzahl der Tage, an denen die Maximaltemperatur mindestens einmal am Tag 30 °C erreicht ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$).

² Anzahl der Tage, an denen die maximale Lufttemperatur nicht über 0 °C steigt ($T_{\max} \leq 0 \text{ °C}$).

³ Anzahl der Tage, an denen der gefallene Niederschlag (Schnee + Regenwasser) mindestens 20 mm beträgt.

⁴ Folge von zusammenhängenden Tagen mit einem Tagesniederschlag von unter 1 mm.

⁵ Maximaler Betrag des Windvektors in 10 Meter Höhe.

⁶ Anzahl der Tage, an denen die maximale Windgeschwindigkeit 62 km/h (Beaufort-Skala 8 = stürmischer Wind) überschreitet ($v_{\max} > 62 \text{ km/h}$).

Die Projektionen des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs im aktuellen IPCC-Bericht reichen je nach Treibhausgasszenario von 0,18 m bis 0,38 m für die nahe Zukunft (2046-2065) und von 0,26 m bis 0,82 m für die ferne Zukunft (2081-2100). Den Projektionen liegen prozessbasierte Modelle zugrunde, wobei ein mittleres Vertrauen in die Projektionen angegeben wird. Das angegebene Vertrauensniveau resultiert u.a. aus Unsicherheiten bei der Quantifizierung der dynamischen Änderungen der Landeismassen. Nach Angaben des IPCC könnte der mittlere globale Meeresspiegel nur durch den Kollaps des marinen Eisschildes der Antarktis über die prognostizierten Bandbreiten steigen. Hierdurch könnte der mittlere Meeresspiegel zusätzlich um einige Dezimeter steigen (mittleres Vertrauen). (IPCC 2013)

Der regionale mittlere Meeresspiegelanstieg kann sich vom mittleren globalen Meeresspiegelanstieg unterscheiden, da beispielsweise Hebungs- und Senkungsprozesse der Küste oder Meeresströmungen den regionalen Meeresspiegel beeinflussen. Nach dem IPCC wird für rund 70 % der weltweiten Küstenlinie ein regionaler Meeresspiegelanstieg projiziert, der innerhalb von $\pm 20 \text{ %}$ des globalen Mittels liegt (IPCC 2013). In einer Zusammenfassung der Literatur zum Klimawandel in Deutschland fanden Weiße und Meinke (2017) Hinweise darauf, dass in der Nordsee zukünftige Anstiegsraten aufgrund der postglazialen Landsenkung höher als der globale Meeresspiegelanstieg ausfallen können, wohingegen in der Ostsee der zukünftige Meeresspiegelanstieg in der Größenordnung des globalen mittleren Anstiegs liegen kann.

Seehäfen und Klimawandel

Die Funktionalität eines Seehafens wird durch die Hafenzufahrt, die verfügbare Fläche und Wassertiefen im Hafen sowie die Hinterlandverbindung gewährleistet. Kommt es aufgrund wetterbedingter oder klimatischer Änderungen zu Störungen in einem oder mehreren dieser Bereiche, kann die Funktionalität des gesamten Hafens in Frage gestellt sein. Häfen sind zudem häufig Basis für industrielle Aktivitäten und kommerzielle Dienstleistungen, die im Hafen oder in unmittelbarer Nähe des Hafens stattfinden, welche alle mehr oder weniger stark von den Folgen des Klimawandels betroffen sein können.

Die Verwundbarkeit von Seehäfen gegenüber dem Klimawandel ist demnach vielfältig. Bild 2 zeigt eine Übersicht identifizierter Klimaparameter und deren Auswirkungen auf die verschiedenen Bereiche eines Seehafens. Nicht alle Auswirkungen müssen dabei negativer Natur sein. Beispielsweise führt die projizierte Abnahme der Eistage zu einer positiven Beeinflussung. Zukünftig ist vor allem mit Auswirkungen aufgrund von Temperatur- und Niederschlagszunahme sowie eines steigenden Meeresspiegels zu rechnen. Auswirkungen aufgrund geänderter Windmuster sind noch mit starken Unsicherheiten behaftet. Aber auch die Klimaparameter, bei denen Projektionen verschiedener Klimamodelle in eine eindeutige Richtung zeigen, weisen vor allem aufgrund der möglichen Bandbreite an zukünftigen Klimaszenarien große Unsicherheiten auf. Seehäfen stehen zudem vor der Herausforderung, aus räumlich grob aufgelösten Projektionen Aussagen über die eigene Betroffenheit abzuleiten. Um die eigene Betroffenheit besser einschätzen und den Nutzen zukünftiger Maßnahmen ableiten zu können, ist zu empfehlen, klimawandelrelevante Auswirkungen zu überwachen und zu katalogisieren und die damit in Zusammenhang stehenden Schäden monetär zu erfassen (PIANC 2019).

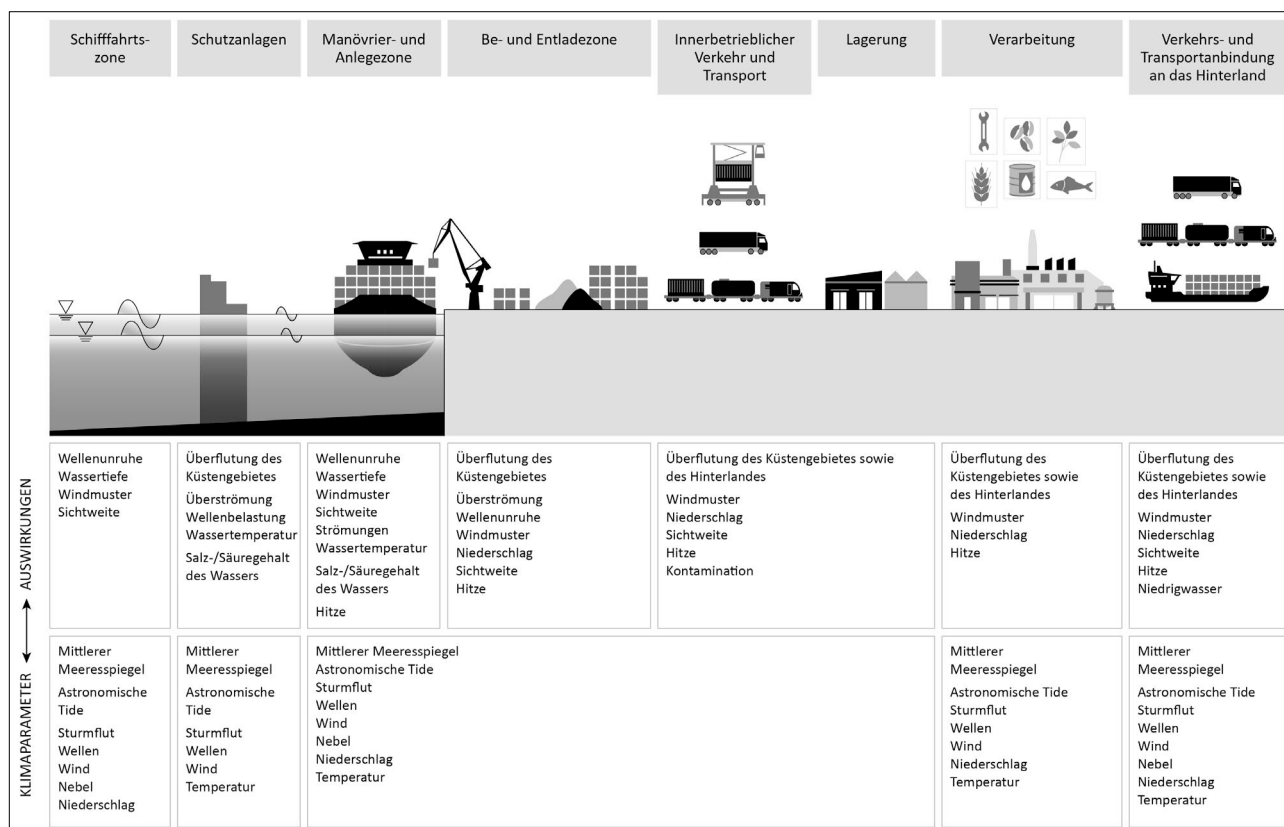


Bild 2: Klimaparameter und deren Auswirkungen auf Seehäfen (nach PIANC 2019)

Wegen der bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts projizierten relativ geringen Meeresspiegeländerungen ist davon auszugehen, dass der Einfluss des Meeresspiegelanstiegs erst langfristig einen deutlich spürbaren Einfluss auf Infrastruktur und Betrieb der deutschen Seehäfen haben wird, der dann jedoch erheblich sein kann. Aufgrund langer Planungs- und Standzeiten vieler Anlagen in Seehäfen wie Hochwasserschutzanlagen und Kaimauern ist deshalb eine frühzeitige Berücksichtigung möglicher Meeresspiegelanstiegsraten in der Planung erforderlich.

Die großen Bandbreiten der möglichen Auswirkungen stellen eine Herausforderung an mögliche Anpassungsmaßnahmen dar. Die Bandbreiten sind jedoch aufgrund der relativ großen Unsicherheiten hinsichtlich der zu erwartenden THG-Emissionen auch zukünftig nicht wesentlich reduzierbar. Idealerweise sind flexible, an die Bandbreiten der zu erwartenden Auswirkungen anpassbare Maßnahmen umzusetzen.

Um die Verwundbarkeit einzelner Anlagen gegenüber dem Klimawandel einzuschätzen, können Anlagenverzeichnisse um kritische Schwellenwerte bzw. vorhandene Anpassungskapazitäten ergänzt werden, um so ein Werkzeug zur Ableitung erforderlicher Maßnahmen zu erstellen (PIANC 2019).

Ausblick

Auf Basis der hier auszugsweise dargelegten zu erwartenden Änderungen des Klimasystems werden im Projekt PortKLIMA Sensitivitätsstudien zur Untersuchung der Vulnerabilität von Hafenanlagen gegenüber den Folgen des Klimawandels durchgeführt. Anhand der Sensitivitätsstudien sollen beispielhaft kritische Schwellenwerte für Hafenanlagen identifiziert werden, um die Erkenntnisse in die Planung von Anpassungsmaßnahmen einfließen zu lassen. Die Ergebnisse werden anschließend in Form von Informationsmaterialien für die berufliche Fort- und Weiterbildung sowie die studentische Lehre zusammengefasst.

Literatur

- Allen, John T. (2018): Climate Change and Severe Thunderstorms - Oxford Research Encyclopedia of Climate Science: Oxford University Press.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2015): KLIWAS. Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVI.
- IPCC (Hg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (Hg.) (2013/ 2014): Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). IPCC. Bonn/Wien/Bern, 2016.
- Klein, B.; Seiffert, R.; Gräwe, U.; Klein, H.; Loewe, P.; Möller, J. et al. (2018): Deutsche Bucht mit Tideelbe und Lübecker Bucht. In: H. von Storch, I. Meinke und M. Claußen (Hg.): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Klemm, O.; Lin, N.-H. (2016): What Causes Observed Fog Trends. Air Quality or Climate Change? In: Aerosol Air Qual. Res. 16 (5), S. 1131–1142.
- Meier, H. M. E. (2015): Projected Change - Marine Physics. In: The BACC II Author Team (Hg.): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Cham: Springer.

- Norddeutscher Klimaatlas (2019): <https://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>.
- OECD/ ITF (2017): ITF Transport Outlook 2017. OECD Publishing, Paris. https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2017_9789282108000-en.
- PIANC (2019): Climate Change Adaptation for Waterborne Transport Infrastructure. PIANC Working Group 178. unveröffentlicht. Belgien.
- Púčik, T.; Groenemeijer, P.; Rädler, A. T.; Tijssen, L.; Nikulin, G.; Prein, A. F. et al. (2017): Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. In: J. Climate 30 (17), S. 6771–6794. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0777.1.
- Schrump, C.; Lowe, J.; Meier, H. E. M.; Grabemann, I.; Holt, J.; Mathis, M. et al. (2016): Projected Change—North Sea. In: F. Colijn und M. Quante (Hg.): North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies. Cham: Springer, S. 175–217.
- Weiß, R.; Meinke, I. (2017): Meeresspiegelanstieg, Gezeiten, Sturmfluten und Seegang. In: G. P. Brasseur, D. Jacob und S. Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

